

Agriculture et Agroalimentaire Canada
Direction générale de la recherche

Agriculture and Agri-Food Canada
Research Branch



Investir dans les éléments constitutifs fondamentaux de la vie pour assurer l'approvisionnement alimentaire futur du Canada



Projet canadien de génomique des plantes cultivées

Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Bulletin technique 1998-7F
Nº de catalogue A54-8/1998-7F ISBN 0-662-83142-X
Août 1998

Pour obtenir un exemplaire, s'adresser à :
Promotion stratégique, Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Édifice Sir-John-Carling, pièce 743
Ottawa (Ontario) K1A 0C5
Tél. : (613) 759-7878 Téléc. : (613) 759-7768
C.É. : bisaillonj@em.agr.ca

Table des matières



Annexe

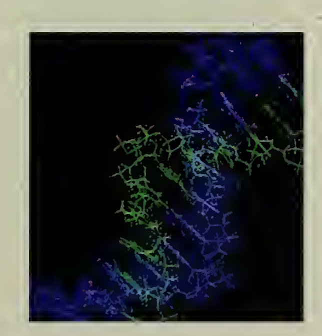
Introduction

Les plantes et les animaux vivants possèdent tous des gènes qui contrôlent les processus fondamentaux de la vie. La plupart des gènes forment des structures organisées appelées chromosomes. La génomique est la discipline scientifique qui étudie la structure et la fonction des gènes contenus dans les organismes vivants et leur action réciproque. Voici certaines retombées positives que pourrait entraîner une meilleure compréhension de la structure et de la fonction des gènes :

- diagnostic et traitement plus efficaces des maladies chez les humains et les plantes cultivées
- mise au point de nouvelles cultures qui sont plus nutritives et dont le rendement est plus élevé
- diminution du besoin de pesticides et d'engrais en production alimentaire.

Gâce à la génomique, on développera des cultures qui pourront être utilisées pour produire un large éventail de produits industriels, nutriceutiques et pharmaceutiques.

Les progrès qui ont été accomplis récemment et qui permettent de faire de la recherche en génomique constituent, croit-on, les nouveaux outils les plus importants dont nous disposons pour satisfaire aux besoins alimentaires futurs de la planète. La capacité très répandue à cloner des gènes et à étudier leurs fonctions offre la possibilité d'améliorer la performance des cultures qui sont d'une importance stratégique pour notre pays.



Dans cette sphère de découvertes, il faut que le Canada acquière et conserve une position d'avant-garde pour maintenir un intérêt stratégique dans la mise au point de cultures supérieures pour l'agriculture canadienne. La recherche en génomique offre aux Canadiens la chance extraordinaire :

- de réduire leur dépendance envers les pesticides et les engrais pour la production alimentaire
- de faire de la production alimentaire une entreprise plus respectueuse de l'environnement
- d'assurer, pour l'avenir, d'un approvisionnement alimentaire à prix abordable
- d'offrir à l'industrie des possibilités de transformation à valeur ajoutée
- de faire en sorte que le Canada demeure compétitif à l'échelle mondiale dans les productions végétales pour lesquelles il détient un avantage comparatif
- de renforcer la position du Canada comme pays d'avant-garde en recherche et en développement dans le domaine de la biotechnologie végétale
- de créer et de conserver chez eux des emplois dans les techniques de pointe.



Le présent document expose un cadre d'action pour un projet canadien de génomique des cultures concerté et extrêmement bien ciblé, dont la direction serait confiée à la Direction générale de la recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). Les progrès accomplis récemment dans les technologies de la recherche en génomique, y compris les procédés d'automatisation des nombreuses étapes de l'identification des gènes, promettent d'accélérer grandement l'attribution de fonctions à des gènes.

Ce projet vise à établir la structure et la fonction des gènes importants. Ce travail jette les bases nécessaires à la mise au point dans l'avenir de cultures canadiennes qui :

- résistent aux maladies et aux insectes
- supportent mieux les stress, comme le froid et la chaleur
- donnent un meilleur rendement et possèdent des qualités supérieures.

Un autre avantage sera l'avènement de nouvelles technologies « plates-formes », qui permettront à un grand nombre d'industries canadiennes et d'établissements du secteur privé de conserver la marge de manoeuvre nécessaire pour mettre sur le marché les produits issus de leurs innovations en biotechnologie, produits dont bénéficiera le secteur agroalimentaire canadien.

Les 18 centres spécialisés de la Direction générale de la recherche d'Agriculture et Agroalimentaire Canada possèdent une vaste compétence en biologie végétale, qui est essentielle pour étendre le processus de découverte des gènes à ceux qui ont une véritable importance pour l'agriculture. Les sphères de compétences d'AAC sont les suivantes :

- biologie moléculaire
- bio-informatique
- entomologie
- pathologie
- physiologie des plantes cultivées
- malherbologie
- chimie des produits naturels
- sélection végétale
- génétique.

Cette compétence intégrée est essentielle pour :

- trouver des gènes utiles
- comprendre leurs fonctions
- les intégrer au germoplasme et aux variétés cultivées pour le bénéfice de l'industrie agroalimentaire canadienne.

En cette ère de découvertes génétiques, le Canada est clairement en mesure de se positionner pour tirer profit de la force qu'il détient depuis longtemps en sélection et en biologie végétales. Un financement axé sur la création d'infrastructures cruciales et de ressources biologiques clés dans certains centres de la Direction

générale de la recherche d'AAC, combiné à une plus large répartition des fonds entre certains centres d'expertise dans les universités et le secteur privé pour la réalisation de projets d'identification de gènes et d'amélioration des cultures mus par les progrès de la biologie, constituerait un projet canadien de génomique des plantes cultivées extrêmement compétitif.

Ces activités extrêmement ciblées en génomique des plantes agricoles complètent d'autres propositions à l'étude sur la recherche en génomique présentées par le Conseil national de recherches (CNR) et le Conseil de recherches médicales (CRM).

Contexte : Résultats des consultations pour le renouveau de la Stratégie canadienne en matière de biotechnologie

Le sixième rapport (1998) du Comité consultatif national de la biotechnologie intitulé Assumer le leadership au prochain millénaire recommandait :

- que le Canada conserve « sa prépondérance dans le secteur biopharmaceutique et agricole » et que « le gouvernement fédéral appuie financièrement avec plus de vigueur les études postgénomiques du programme canadien sur le génome, l'accent devant être mis tout particulièrement sur la génomique fonctionnelle, la bio-informatique, la protéomique, les études de domaine et l'expression génétique différentielle ».



Le Conseil de recherches agricoles du Canada a effectué des consultations ce printemps pour aider à l'élaboration de la Stratégie canadienne en matière de biotechnologie. Dans un rapport intitulé Occasions et défis pour l'application de la biotechnologie dans le secteur agroalimentaire canadien, il recommandait :

- que les institutions publiques jouent un rôle directeur dans de nombreux domaines fondamentaux de la recherche, y compris les technologies de la génomique axées sur des projets précis intéressant les principaux secteurs agricoles du Canada ainsi que sur une R et D accrue pour appuyer la réglementation en agroalimentaire. Dans ce rapport on insistait aussi sur l'importance de tabler sur nos points forts et sur nos investissements précédents.

Le Comité permanent de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Parlement a tenu un certain nombre de réunions ce printemps, là aussi pour aider à l'élaboration de la Stratégie canadienne en matière de biotechnologie. Dans son rapport (1998) intitulé Profitons de l'avantage : La biotechnologie agricole au nouveau millénaire, il était recommandé :

- que l'on augmente le financement accordé à la recherche fondamentale à long terme au sein d'AAC. Étaient spécialement mentionnés les projets de recherche de portée mondiale et ceux qui s'appuient sur les forces du Canada et sur les possibilités commerciales offertes par le partenariat.

Le Groupe de travail sur le génome du Conseil de recherches médicales, dans un rapport (1998) intitulé Genomics: A Platform for the New Century, tirait la conclusion suivante :

- la génomique est l'une des nouvelles disciplines les plus importantes à émerger en recherche scientifique, promettant d'immenses retombées positives sur la qualité de vie, la création de la recherche et le développement durable avec des conséquences dans chaque branche des sciences de la vie : santé humaine, agriculture, pêches, forêts, etc.

Le Conseil national de recherches, dans un rapport indépendant (1998) intitulé Initiative stratégique des sciences du génome, concluait :

- la génomique aura une grande incidence sur la mise au point de nouvelles variétés végétales, la manipulation des caractères génétiques des plantes et la production de nouveaux instruments pour surveiller et gérer la biodiversité.

Pris ensemble, les rapports concluent :

- la génomique est la chance à saisir du prochain siècle et revêt une importance capitale pour de nombreux secteurs; la réalité est que de nombreux gènes importants pour des besoins humains cruciaux seront bientôt découverts et brevetés, tout cela grâce à des outils génomiques avancés, et le Canada doit être de la partie
- la recherche dans le domaine de la génomique a besoin d'être financée
- il faut une vision pluridisciplinaire
- de nombreuses possibilités couvrent intrinsèquement plusieurs secteurs
- les établissements tant privés que publics ont des rôles importants à jouer.

La chance à saisir

Possibilité du Canada de s'approprier les retombées positives

- L'industrie agroalimentaire canadienne engendre des revenus de 44 milliards de dollars par année. Ses exportations rapportent annuellement 20 milliards de dollars, dont 8 milliards viennent maintenant des produits alimentaires. Elle compte 15 p. 100 des emplois dans notre pays et crée 9 p. 100 de notre produit intérieur brut.

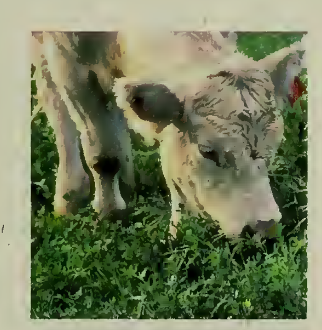
- Comme la majeure partie des terres arables du Canada sont actuellement en production et parce que le secteur reçoit peu de subventions, l'aptitude de notre pays à répondre à la demande sans cesse croissante de produits alimentaires meilleurs et plus abondants sur une planète dont la population pourrait atteindre 8 milliards d'habitants en l'an 2030, dépendra d'une capacité d'innovation faisant appel de plus en plus à la biotechnologie.

- Au Canada, l'activité économique entourant la biotechnologie agroalimentaire (319 millions de dollars) ne le cède qu'à l'industrie pharmaceutique (396 millions de dollars). On estime que 26 p. 100 des sociétés biotechnologiques clés du Canada se trouvent dans le secteur agroalimentaire. Le poids de notre industrie biotechnologique, qui est cinq fois supérieur à celle des États-Unis, nous donne un argument extrêmement convaincant pour accélérer l'investissement dans la biotechnologie agroalimentaire canadienne.

- Environ 20 p. 100 des aliments et des boissons transformés sont produits à l'aide des techniques de la biotechnologie; celles de la fermentation, en particulier, ont été largement adoptées.

- Le vieillissement de la population dans le monde industrialisé a créé des marchés fort intéressants pour les aliments fonctionnels et les produits nutriceutiques qui sont bons pour la santé. L'Institut national de la nutrition reconnaît l'énorme potentiel pour la biotechnologie d'améliorer les qualités nutritionnelles des aliments et leurs bienfaits pour la santé. Ces aliments fonctionnels signalent la convergence des industries de l'agroalimentaire et de la santé.

- La coopération du secteur privé, des établissements de recherche publics et des instances réglementaires du gouvernement a permis l'adoption rapide de cultures à caractères nouveaux produits à l'aide de la biotechnologie. Par exemple, nous estimons que les variétés transgéniques de canola occuperont la moitié de la superficie consacrée à cette culture au Canada en 1998. Cela représente un taux d'adoption très élevé quand on pense que ces variétés n'ont reçu leurs premières homologations provisoires qu'en 1995.



Les objectifs

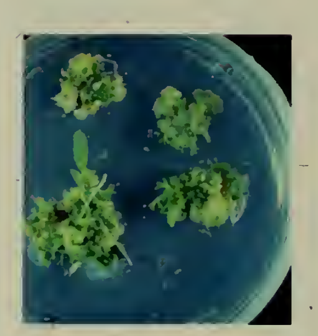
Plantes cultivées

- Le Canada est un important producteur de récoltes dans le monde. À l'heure actuelle, nous produisons plus de 5 p. 100 des récoltes mondiales de blé, d'orge, de canola, de lin, de pois et de lentilles. La majeure partie de cette production est actuellement exportée en vrac sous forme de denrées non transformées.

- Les exportations de blé, d'orge et de canola constituent environ 85 p. 100 des exportations de récoltes en vrac du Canada. Notre pays est un grand producteur de blé et de canola. On prévoit qu'il tirera d'immenses profits de la recherche visant à améliorer la productivité de ces deux plantes grâce à une plus grande résistance aux insectes et aux maladies et à une tolérance

accrue au froid et à la sécheresse. L'amélioration des aptitudes à la transformation et des caractères nutritionnels du blé et du canola, ainsi que les produits à valeur rajoutée qui en dériveront, en augmenteront énormément la valeur. Les efforts de recherche sur les plantes cultivées porteront plus particulièrement sur ces deux plantes. Cela signifie que d'éventuels succès entraîneront des retombées extrêmement importantes pour le Canada sur les plans de la viabilité économique et de l'environnement.

Molécules commercialisables



- Les plantes comme les animaux servent de véhicules pour produire de précieuses molécules ayant des applications extrêmement diverses. Par exemple, des protéines thérapeutiques humaines, dont les enzymes, les anticorps et les vaccins, ont été exprimées dans une gamme d'espèces végétales. Les plantes offrent aussi beaucoup de potentiel pour produire des substances chimiques utilisables dans l'industrie ou, encore, dans l'alimentation des hommes ou des animaux. Les scientifiques de la Direction générale de la recherche collaborent à ces projets. Par exemple, on essaie de trouver des gènes bénéfiques dans la microflore du rumen des bovins. Les projets de collaboration menés dans l'avenir porteront sur des produits destinés au secteur agroalimentaire et des substances chimiques intéressantes pour d'autres secteurs. Nous prévoyons que ce genre de projets naîtront rapidement entre les équipes travaillant sur le génome humain et sur les génomes des plantes.

La base réceptrice des technologies

- De nombreuses multinationales agricoles sont activement présentes en R et D au Canada. Novaritis, DuPont, Monsanto, Pioneer Hi-Bred, Dow AgroScience, AgrEvo-PGS, Limagrain,

Zeneca, DeKalb et Svalof Weibul en sont des exemples. Toutes incorporent leurs innovations biotechnologiques à des semences qui sont vendues aux producteurs. Ces mécanismes de dissémination de la technologie sont extrêmement efficaces, comme le prouve le taux d'adoption des variétés de canola tolérantes aux herbicides.

- En plus des entreprises semencières canadiennes, il y a un nombre considérable de sociétés qui démarrent en biotechnologie végétale au Canada (Performance Plants, Prairie Plants, SemBioSys, DNA Landmarks).

- Partout dans le monde, les acteurs de l'industrie privée cherchent à se restructurer dans le but d'être bien placés pour s'emparer des chaînes de valeur naissantes qui peuvent être exploitées par l'application de la phytogénomique fonctionnelle. De grandes organisations s'intègrent verticalement pour être capables à la fois de produire des intrants en agriculture (p. ex. variétés résistantes aux pesticides) et de transformer des plantes cultivées dotées de caractères nouveaux en aliments pour le bétail et pour les humains ainsi qu'en ingrédients pour les marchés de la planète. Ces progrès, prévoit-on, offriront aux Canadiens de nombreuses possibilités d'innovation technologique et d'exploitation commerciale.

Compétences d'AAC en biologie végétale

- Au pays, la Direction générale de la recherche a montré de façon efficace la voie à suivre au secteur agroalimentaire canadien dans le développement scientifique et technologique depuis plus d'un siècle. Nous avons poursuivi la recherche menant à la découverte des gènes et au génie génétique, puis livré les résultats sous forme de techniques des produits finis — des variétés agricoles commerciales. Pour réaliser cette feuille de route, la Direction générale de la recherche, grâce à son réseau

composé de 18 centres spécialisés situés de façon stratégique près de ses clients et de ses partenaires, a acquis une vaste compétence dans toutes les disciplines de la biologie végétale.

- La génomique des plantes se rapporte aux secteurs d'activités de la Direction générale de la recherche, notamment ceux qui concernent les ressources génétiques, les cultures, les sols, les animaux et les aliments à valeur ajoutée. Dans tous les secteurs d'activités, la biotechnologie est incorporée aux projets de recherche et de développement.

- La Direction générale de la recherche dispose du vaste soutien de la biologie essentiel à la découverte et à l'exploitation des gènes. Cela comprend la pathologie, l'entomologie, la malherbologie, la physiologie, l'agronomie, le chimie, la génétique, la bio-informatique et la sélection végétale.

- La Direction générale de la recherche a déjà fait d'importants investissements dans la génomique.

Certaines applications biotechnologiques à AAC

- AAC, en collaboration avec l'industrie, a dirigé la mise au point et l'introduction de la première variété commerciale au monde d'oléagineux transgéniques—le canola Innovator.

- Le Canada a respecté à l'échelle internationale la réglementation sur la biotechnologie agricole, grâce à une coopération efficace entre les secteurs public et privé, pour régler les problèmes par la recherche et l'application des résultats des travaux scientifiques.

- Les programmes d'amélioration génétiques des grandes cultures (orge, blé, avoine, canola, lin et pois) ont permis de mettre au point et d'appliquer couramment des instruments moléculaires et génomiques, comme les dihaploïdes, les cartes génomiques ainsi

que les marqueurs de gènes ou de caractères (sélection effectuée à l'aide de marqueurs moléculaires).



- Le clonage cartographique des gènes chez le blé et le canola est en cours.
- Des études d'expression génique ont été établies (conjointement avec l'Institut de biotechnologie des plantes du CNR).
- On a découvert que des gènes brevetés et des promoteurs de gènes avaient quelque chose à voir dans le métabolisme des glucides et la tolérance au froid.

Liens et partenariats

- La Direction générale de la recherche, qui consiste en 18 centres spécialisés ayant d'étroites relations avec les grandes universités de partout au Canada et qui sont présents sur leurs campus ou à proximité, faciliterait la collaboration avec celles-ci, et cette collaboration stimulerait le perfectionnement des ressources humaines.
- Grâce à son Programme de partage des frais pour l'investissement en R et D, la Direction générale de la recherche a noué d'étroits liens de travail avec ses partenaires et ses clients de l'industrie. Elle a acquis un savoir-faire considérable sur les aspects commerciaux et juridiques de la définition, de la gestion et de l'exploitation de la propriété intellectuelle.
- La Direction générale de la recherche entretient depuis longtemps de solides relations de travail avec le CNR et des laboratoires européens ainsi qu'avec des établissements scientifiques du gouvernement américain. Par exemple, avec le CNR, elle a transformé une oléagineuse industrielle en une nouvelle huile

comestible — l'huile de canola; cette avancée a permis la mise au point d'un canola tolérant aux herbicides.

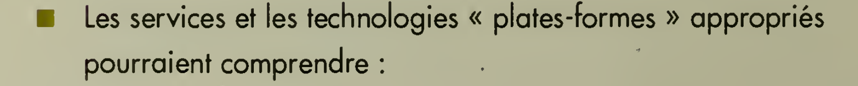
Initiatives proposées en génomique des végétaux en relation avec l'ensemble des travaux sur les génomes au Canada

- Étant donné que la course mondiale pour découvrir et breveter des gènes provenant de toutes sortes d'espèces est maintenant lancée, AAC recommande que l'investissement du gouvernement en biotechnologie porte sur les points forts que possède déjà le Canada et favorise des activités complémentaires.



- AAC endosse un grand nombre des principes communs énumérés dans des propositions sur la génomique du CNR et du CRM. Notamment, il faudrait créer une entité formée des intéressés pour faciliter l'établissement d'alliances stratégiques et, ainsi, développer des technologies « plates-formes » de la génomique qui seraient au service des projets de génomique fonctionnelle chez les humains, les plantes (en particulier chez Arabidopsis et le riz pour application dans les cultures canadiennes) et, éventuellement, chez d'autres organismes appropriés.

- Les services et les technologies « plates-formes » appropriés pourraient comprendre :



  - le séquençage d'ADN à haute capacité pour soutenir les efforts déployés à l'échelle internationale dans le séquençage des génomes du riz et d'Arabidopsis
  - la protéomique
  - la bio-informatique
  - les puces à ADN (gènes).

- AAC travaillerait étroitement avec le CNR à mettre au point et à utiliser ces technologies « plates-formes ».

- AAC croit que le succès des projets en génomique fonctionnelle, en particulier ceux qui se rapportent à l'expression des caractères agronomiques et des qualités industrielles désirables, dépendra d'un vaste savoir-faire qui s'étendra à la génétique moléculaire et quantitative, à la physiologie, à la pathologie et à la biochimie de l'organisme cible pertinent. Les groupes qui dirigent la mise au point de technologies de la génomique fonctionnelle propres à certains organismes devront avoir démontré largement leur capacité à former des partenariats et à conclure des accords avec des groupes clés partout au Canada et dans le monde, et être effectivement en mesure de le faire.

Projet de génomique fonctionnelle mené par la Direction générale de la recherche

- D'après les critères mentionnés plus haut, la Direction générale de la recherche est particulièrement bien placée pour diriger des projets en génomique fonctionnelle se rapportant à des végétaux économiques à l'intérieur d'une organisation de recherche publique « virtuelle ».

- Le Projet serait dirigé et géré par la Direction générale de la recherche. On organiserait deux ensembles intégrés de travaux pluridisciplinaires qui seraient menés de concert et qui feraient appel aux forces scientifiques partout où elles peuvent exister au Canada et, au besoin, dans d'autres pays. Un ensemble porterait sur Arabidopsis et le canola et l'autre, sur le riz et le blé.

- Un élément essentiel de la stratégie serait de mettre à profit les données disponibles issues des programmes mondiaux de séquençage des chromosomes chez Arabidopsis et le riz (et éventuellement chez d'autres céréales) afin de cibler les gènes

désirables pour le développement durable du secteur agroalimentaire canadien, surtout dans les domaines se rapportant au canola et au blé.

- Il faudrait que les travaux sur les génomes végétaux soient effectués en étroite-collaboration avec des projets portant sur les « technologies plates-formes » menés à l'intérieur et à l'extérieur d'AAC. Les services et les technologies nécessaires comprendraient le séquençage d'ADN à haute capacité, la bio-informatique, les puces à ADN et la protéomique.

- Pour bien utiliser les découvertes sur les gènes issues de la recherche en génomique, il faudrait, dans ce projet, mettre au point des technologies habilitantes fondamentales, comme des promoteurs et des protocoles sur la transformation des végétaux, afin qu'une large base constituée de laboratoires publics et privés puisse avoir la marge de manoeuvre nécessaire pour commercialiser les gènes nouvellement découverts qui contrôlent des caractères utiles sur le plan agricole.

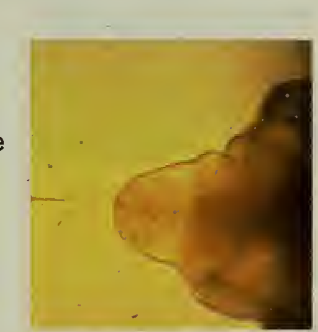
- Un des grands objectifs du programme est de commercialiser les technologies de la génomique portant sur les végétaux. Comme l'on s'attend à ce que la recherche dans cette discipline entraîne rapidement la découverte de gènes et, par conséquent, génère une propriété intellectuelle, un aspect important de ce projet sera de gérer celle-ci de manière à créer des occasions d'affaires qui stimuleront l'établissement et la croissance d'entreprises canadiennes viables en génomique végétale.

- La Direction générale de la recherche établira des partenariats avec le CRM, le NRC, les universités et le secteur privé afin de réunir les meilleures équipes possibles pour chaque projet et réaliser plus efficacement les objectifs visés.

Éléments du programme

Bien que des installations cruciales appropriées et des ressources biologiques clés soient essentielles à la découverte accélérée de gènes promise par la génomique moderne, le succès du Projet canadien de génomique des plantes cultivées dépendra finalement de :

- l'aptitude des biologistes à détecter des différences dans le phénotype des végétaux (p. ex. détection, par les pathologistes, d'une réaction modifiée aux maladies, par les physiologistes, d'une meilleure acclimatation au froid ou, par les chimistes, d'une modification de la qualité des semences)
- de l'imagination des scientifiques et de leur ingéniosité à convertir de l'information sur l'activité des gènes en un meilleur comportement des cultures.



C'est pourquoi le principal élément du Projet canadien de génomique des plantes cultivées qui est proposé sera un ensemble de travaux ciblés et mus par les progrès de la biologie, sous la direction de chercheurs d'AAC qui possèdent les connaissances scientifiques les plus pertinentes.

Les travaux seront axés sur les systèmes de production végétale :

- qui sont les plus susceptibles à court terme de mener à une découverte rapide de gènes
- qui sont les plus susceptibles à long terme de produire des retombées économiques grâce à une performance améliorée.

Ces travaux seront aussi axés sur :

- des caractères d'une importance stratégique pour le Canada
- des caractères pour lesquels la science canadienne a des chances de maintenir une avance à l'échelle internationale.

Les projets mus par les progrès de la biologie comprendront cinq types principaux d'activités :

- découverte de gènes
- biologie comparative
- mise au point de nouvelles technologies (en biologie moléculaire aussi bien qu'en informatique)
- clonage cartographique des gènes
- modification des cultures.



Ce programme mobilisera la force que détient depuis longtemps le Canada en sélection de plantes et en biologie végétale en un projet de découverte des gènes fondé sur la génomique. Il comportera un financement axé spécialement sur le développement d'une infrastructure clé et de ressources biologiques, de même que sur des projets mus par les progrès de la biologie visant l'identification de gènes et l'amélioration des cultures.

Infrastructure

- Les investissements dans l'infrastructure seront faits pour automatiser la découverte de gènes.

- L'infrastructure minimale nécessaire pour soutenir la recherche canadienne en génomique des cultures est le séquençage de l'ADN à haute capacité (avec analyses bio-informatiques) et des installations pour produire et trier des puces à ADN et des séries de séquences de nucléotides (microarrays). Ensemble, ces installations produiront les données moléculaires qui rendront possible l'automatisation de certains aspects de la découverte de gènes.

- Deux types de ressources biologiques sont cruciales pour l'accélération du clonage des gènes et de découverte de gènes pour le blé et le canola. Ces ressources sont les banques génomiques ordonnées et les populations d'étiquetage génétique.

- Les banques ordonnées d'insérés de grandes dimensions de clones génomiques (banques génomiques ordonnées) automatisent le processus de clonage cartographique des gènes et sont extrêmement utiles en biologie comparative ainsi que pour l'identification de gènes dupliqués. Ces banques facilitent aussi l'isolement de segments de chromosomes correspondant à des séquences étiquetées et, par conséquent, le génie génétique et la recherche de promoteurs.

- Les populations d'étiquetage génétique peuvent servir à découvrir les fonctions des gènes par génétique inverse. À l'heure actuelle, ce processus consiste à insérer au hasard des éléments de disruption dans un génome végétal et à utiliser la technique d'amplification enzymatique (PCR) pour identifier les plantes qui comportent des insertions dans des gènes particuliers. Les caractéristiques de ces plantes mutantes sont ensuite étudiées. On peut maintenant mettre au point une banque entière de ce genre de plantes, dans laquelle chacune a un élément de disruption inséré dans un gène différent et où la séquence d'ADN génomique de chaque point d'insertion mutagène a été déterminée et cataloguée. Avec ce genre de population, il est possible d'utiliser des ordinateurs pour identifier la plante qui affiche une mutation dans un gène intéressant. On peut ensuite soumettre la plante en question à une analyse exhaustive pour déceler des changements même très subtils dans le phénotype.

Caractères canadiens visés

- **La tolérance au froid et à la chaleur ainsi que la résistance au gel** sont des caractéristiques importantes pour presque toutes les cultures et sont d'un intérêt stratégique capital pour le Canada. La résistance au gel a une portée notable sur la stabilité du rendement et de la tolérance au froid (surtout qu'elle joue sur la vigueur de la croissance des semis) et exerce une influence déterminante sur le potentiel de rendement. Des programmes de découverte des gènes menés parallèlement dans des systèmes différents mettront probablement en évidence des voies nouvelles et complémentaires pour l'inscription dans les gènes d'une tolérance accrue au froid et d'une meilleure résistance au gel.

- **La résistance aux maladies** est une caractéristique importante dans toutes les cultures. De nombreux agents pathogènes sont propres à certaines d'entre elles, et l'importance économique de chacun varie souvent selon la région géographique. Pour ces raisons, les gènes entrent en jeu dans les mécanismes de résistance aux maladies et doivent être considérés comme très prioritaires par le Projet canadien de génomique des plantes cultivées. Il existe aussi de nombreuses similitudes entre les mécanismes que les plantes utilisent pour déceler ou répondre aux différents pathogènes. Ces similitudes fourniront des points utiles de contact et d'échange d'informations entre les chercheurs travaillant sur différents systèmes.

- **La qualité de la semence** est une composante importante de toutes les cultures de céréales, de légumineuses à grains et d'oléagineuses. Les gènes qui contrôlent le développement de la semence, la fragmentation du carbone, la qualité des protéines, celle de l'huile et celle de l'amidon ainsi que l'accumulation de composés antinutritionnels seront ce que le Projet canadien de génomique des plantes cultivées cherchera à découvrir et à modifier.

- **La résistance aux insectes** est importante pour réduire les pertes de récoltes et l'usage des pesticides. Les principales cultures du Canada sont la proie de divers insectes, comme la cécidomyie chez le blé et les altises chez le canola. Les spécialistes de la biologie moléculaire et de l'entomologie étudieront, par le biais d'antibiotiques et d'antixénotiques, la résistance aux insectes en s'appuyant sur une base moléculaire. On mettra au point du matériel génétique et des variétés dotées de résistance aux insectes qui sont redoutables pour l'économie.



Budget

- Selon des estimations, le budget consacré à un projet compétitif sur le plan mondial en génomique des végétaux nécessite un investissement de 25 millions de dollars par année sur dix ans.

Annexe

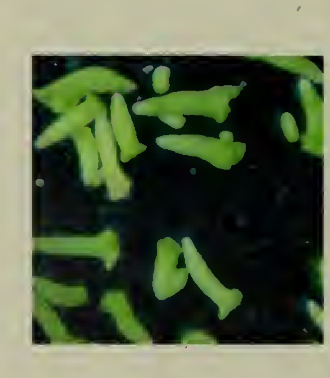
Recherches et expertise en biotechnologie au sein d'AAC

AAC possède une nette expertise en biotechnologie dans huit de ses 18 centres de recherche répartis d'un bout à l'autre du Canada. Chaque centre s'est vu confier un mandat spécialisé reposant sur les points forts que possède la région dans le domaine agricole. La coordination de programmes entre les centres crée un solide réseau de compétence national. Voici une brève description de la recherche en biotechnologie qui se fait à AAC.

Centre de recherches agricoles de la région du, Pacifique (Summerland)

Le programme de recherche est axé sur :

- la mise au point de caractères agronomiques pour les fruits de verger, les petits fruits et les légumes
- la protection contre les agents phytopathogènes, notamment les champignons, les virus et les bactéries, ainsi que les insectes
- la transformation, l'utilisation et la qualité des produits végétaux.



Des chercheurs travaillent sur :

- des moyens moléculaires de lutter contre le brunissement enzymatique chez la poire et la pomme
- a résistance à de nombreuses maladies (p. ex. brûlure bactérienne, tavelure, blanc) à l'aide de transgènes
- la cartographie génomique et l'isolement de gènes chez le pommier
- la sélection, à l'aide de marqueurs, axée sur l'auto-fertilité chez le cerisier

- la maîtrise des mécanismes biologiques qui régissent la saveur, la texture et la couleur des fruits
- la résistance aux virus fondée sur les transgènes
- des méthodes de diagnostic fondées sur l'ADN pour des maladies virales, bactériennes et fongiques
- a cartographie et le clonage des gènes chez les champignons et les bactéries
- l'évaluation des risques que comporte la recombinaison entre des séquences virales des transgènes et le virus comme tel
- la modification des virus et des champignons comme agents de biolutte.

Le Centre est bien branché sur l'industrie horticole et le monde de la recherche, à l'échelle nationale et internationale.

Centre de recherches de Lethbridge

Le Centre réalise des travaux de recherches en biotechnologie sur les animaux ruminants et la pomme de terre. En voici certains résultats :

- isolement d'enzymes de microorganismes du rumen participant à la digestion de glucides complexes et de protéines
- mise au point de moyens d'expression pour produire des enzymes (xylanases, cellulases, phytases, protéases) provenant de microorganismes de rumen comme composantes des plantes fourragères ou comme additifs alimentaires destinés aux animaux non ruminants
- identification de microbes qui produisent des bactériocines et des peptides bioactifs pour contrôler la microflore du rumen
- utilisation de la biotechnologie chez la pomme de terre pour l'identification et la mise au point de matériel génétique, l'étude de l'hérédité et l'identification de marqueurs ADN
- mise au point de moyens de dépistage de plusieurs agents pathogènes fongiques et viraux (Fusarium, virus de l'enroulement de la pomme de terre, virus du rattle du tabac)

- découverte de marqueurs des gènes de résistance à Verticillium.

Le Centre est étroitement lié aux industries du boeuf et de la pomme de terre.

Centre de recherches de Saskatoon

Le principal sujet d'intérêt du Centre est l'amélioration du canola. On y retrouve un groupe important de génétique moléculaire et des sections travaillant sur :

- la protection écologique des cultures
- l'amélioration génétique des oléagineux
- la chimie des produits naturels
- la gestion durable des terres.

Le Centre possède un programme dynamique de mise au point de matériel génétique pour Brassica napus, B. rapa et les espèces apparentées B. juncea, B. carinata et Sinapis alba. La capacité à mettre au point du matériel génétique est une ressource importante pour la recherche et le développement en biotechnologie.

L'amélioration des cultures est axée sur :

- la résistance aux insectes (agents phytochimiques, inhibiteurs de la protéase)
- la tolérance au froid (modification des caractéristiques de croissance de basse température et maîtrise de l'acclimatation au froid)
- la résistance aux agents pathogènes (Leptosphaeria, Sclerotinia — conception de gènes de la résistance, cumul pyramidal de ces gènes, transfert interspécifique de gènes)
- a qualité de l'huile
- la qualité du tourteau

- l'augmentation de la productivité (nouveaux systèmes hybrides; réduction de l'éclatement des gousses)
- la tolérance à la sécheresse et à la chaleur.

Le Centre a de nouveaux laboratoires conçus spécialement pour la biotechnologie et la recherche génomique. On peut y effectuer les travaux suivants :

- la mise au point de librairies de clones génomiques (insectes) pour le clonage cartographique de gènes
- séquençage (mise au point de séquences étiquetées et de marqueurs microsatellites)
- les systèmes pour le contrôle de l'expression génique
- la sélection de génotypes complexes de plantes effectuée à l'aide de marqueurs
- la modélisation mathématique
- la bio-informatique.

Le Centre entretient de bonnes relations de travail avec l'Institut de biotechnologie des plantes du Conseil national de recherches. Il jouit d'une longue tradition d'étroite collaboration avec tous les segments de l'industrie des oléagineux, et son travail est fermement appuyé par le Conseil canadien du canola. Le principal bâtiment de ses laboratoires est situé dans un endroit idéal pour la collaboration avec ses partenaires du secteur privé en recherche et en développement, y compris les grandes entreprises agrochimiques et semencières canadiennes et multinationales, qui ont des laboratoires de recherches à Innovation Place, à côté de l'Université de la Saskatchewan.



Centre de recherches sur les céréales (Winnipeg)

Cet établissement, qui est le pivot national de spécialisation dans les cultures céréalières, est réputé mondialement pour son travail sur le lin et le blé roux vitreux de printemps. Il possède l'une des meilleures collections mondiales de ressources génétiques sur le blé, l'orge et le lin. Le programme axe la sélection effectuée à l'aide de marqueurs sur :

- une forte teneur en protéines
- l'absorption de métaux lourds
- la résistance aux maladies (Fusarium, rouille de la tige et des feuilles, tache helminthosporienne)
- la résistance aux insectes (cécidomyie du blé)
- la résistance aux intempéries.



La cartographie génomique a été utilisée pour une multitude de caractères influant sur la capacité à se prêter à l'utilisation finale. L'ADN de toutes les variétés de blé canadiennes homologuées a fait l'objet d'une analyse des empreintes génétiques. Le clonage des gènes est pratiqué pour des protéines précises qui jouent sur l'aptitude à la mouture et à la cuisson au four (gluténines) ainsi que sur la résistance aux maladies. Depuis longtemps, le Centre s'intéresse à la physiologie hôte-parasite et à la mise au point de cultivars dotés d'une qualité supérieure. Il est logique d'élargir l'application des outils de la génomique pour mieux comprendre les interactions entre les agents pathogènes et les plantes et pour manipuler les gènes qui influent sur les composantes de la qualité des semences. Le programme a très bien réussi à intégrer l'équipe de biologie moléculaire aux sélectionneurs de végétaux, pathologistes, entomologistes et chimistes des céréales.

Le Centre entretient d'étroites relations de travail avec plusieurs partenaires du secteur privé pour la mise au point :

- de blés hybrides
- de caractères déterminant la capacité à se prêter à l'usage final (protéines d'entreposage, synthèse de l'amidon, enzymes industrielles)
- protéines antifongiques
- caractères agronomiques (résistance à la verse, résistance à la germination, résistance aux herbicides).

Le Centre, situé sur le campus de l'Université du Manitoba, a de bonnes relations de travail avec :

- l'industrie céréalière
- la Commission canadienne du blé
- la Commission canadienne des grains
- la Western Grain Research Foundation
- les Keystone Agriculture Producers
- d'autres organisations.

Centre de recherches de l'Est sur les céréales et les oléagineux (Ottawa)

Ce programme est chargé de la mise au point de variétés de maïs, de soja, de blé, d'orge et d'avoine pour l'Est canadien. Il compte l'un des groupes de biotechnologie végétale parmi les plus gros et les plus anciens du Canada. Le Centre possède une expertise dans les stratégies moléculaires axée sur :

- l'expression des gènes (promoteurs, transactivateurs)
- la résistance aux insectes
- la tolérance au froid
- la modification des protéines de la semence
- l'interaction hôte–pathogène
- la modification du tégument séminal
- le contrôle du développement (fertilité).

Le groupe de la biotechnologie est étroitement intégré aux chercheurs travaillant à la mise au point de variétés. Voici sur quoi portent certains projets :

- la résistance à Fusarium chez le maïs et le blé
- la résistance à Sclerotinia et à Phytophthora chez le soja
- les technologies de transformation
- les promoteurs constitutifs et propres à des tissus
- la tolérance au froid chez le maïs et le soja
- la sélection aidée de marqueurs et axée sur la résistance aux maladies et sur les caractères déterminant la capacité à se prêter à l'utilisation finale, chez l'avoine, l'orge, le blé et le soja
- les séquences étiquetées chez les soja
- la cartographie du génome de l'avoine.

Le Centre entretient depuis longtemps de solides relations de travail avec de grandes entreprises privées. Il est fermement appuyé par de petites sociétés semencières situées en Ontario et au Québec, par Secan et par la Coalition ontarienne de recherches sur les grandes cultures.

Centre de recherches du Sud sur la phytoprotection et les aliments (London)

Le programme s'intéresse plus précisément à la mise au point :

- de systèmes respectueux de l'environnement pour la protection des fruits, des légumes, des plantes ornementales et des grandes cultures contre les insectes et les agents phytopatogènes
- de cultures de rechange pour les sols à texture grossière du sud de l'Ontario.

Les projets actuels en biotechnologie comprennent, entre autres :

- production de produits pharmaceutiques (vaccins contre les maladies des porcs, modulateurs immunologiques pour le traitement du diabète) à l'aide du tabac et d'autres espèces végétales
- étiquetage de séquences chez le stevia (plante cultivée pour la production d'un édulcorant faible en calories)
- isolement de gènes propres au tégument séminal chez les soja
- cartographie et clonage de gènes axés sur la résistance à Phytophthora
- diagnostic des maladies fongiques basé sur la méthode de l'amplification enzymatique (PCR)
- génétique moléculaire de la pathogénicité chez Verticillium
- isolement et caractérisation d'agents microbiens pour la biorestauration des sols
- caractérisation des gènes de virulence chez les pathogènes bactériens de la tomate Xanthomonas campestris et Pseudomonas syringae
- isolement de gènes qui suppriment la tumorigénèse à partir d'Agrobacterium vitis (galle de couronne chez la vigne)
- résistance à Bacillus thuringiensis chez la pyrale



- systèmes de transformation des plantes pour le stevia et d'autres nouvelles cultures potentielles
- résistance à la brûlure bactérienne chez le poirier.

Le Centre se trouve au coeur d'une région vouée à la production horticole intensive. La recherche sur la protection vise à acquérir une compréhension fondamentale de l'interaction entre le pathogène et l'hôte. L'objectif final est de mettre au point des technologies de lutte supérieures.

Centre de recherche et de développement sur les sols et les cultures (Sainte-Foy)



Le Centre se concentre sur la mise au point de cultures fourragères et de systèmes de production intégrés en milieu. Les travaux actuels en biotechnologie portent sur le développement de cultivars de luzerne affichant une meilleure survie à l'hiver. Des sondes moléculaires et des marqueurs RFLP (polymorphisme de longueur des fragments de restriction) sont mis au point pour des gènes dont l'expression à basse température est liée à une meilleure survie. On perfectionne la sélection effectuée à l'aide de marqueurs pour un grand nombre d'agents pathogènes fongiques et bactériens (Phytophthora, Aphanomyces, Verticillium, Fusarium, Corynebacterium). Un projet plus nouveau réalisé en collaboration avec des sociétés pharmaceutiques consiste à produire de grandes quantités de protéines d'une très grande utilité dans ce domaine à l'aide de plantes de luzerne transgénique.

Le Centre est étroitement lié à l'Université Laval, au MAPAQ, à la Coop Fedérée, à l'UPA et à l'industrie semencière.

Centre de recherches sur la pomme de terre (Fredericton)

Le mandat du Centre comprend :

- l'amélioration de la pomme de terre
- le maintien d'une banque nationale de ressources génétiques pour la pomme de terre
- la lutte contre les parasites de la pomme de terre, la physiologie de cette plante ainsi que la gestion des sols et de l'eau.

Les projets de biotechnologie comprennent le développement ou la caractérisation de ce qui suit :

- marqueurs génétiques pour la teneur en sucre et la dormance
- un promoteur pour les caractères déterminant la capacité à se prêter à la transformation
- gènes liés au métabolisme du sucre et à la dormance
- information sur le niveau d'ADN révélant la capacité de combinaison génétique d'un parent ou d'une lignée
- un promoteur viral pour un certain nombre de pathogènes
- gènes liés au mildiou, à la galle commune et aux virus de Solanum sp.
- technique de la RT-PCR pour le dépistage des virus et des viroïdes de la pomme de terre.

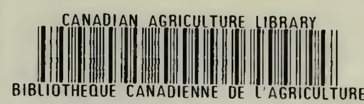
Le Centre est lié de près aux principaux industriels canadiens de la pomme de terre (McCains, Cavendish Farms) ainsi qu'au commerce des semences. Environ la moitié des pommes de terre de semence exportées du Canada sont cultivées non loin du Centre.

Autres centres

En plus de ses huit centres, AAC possède dix autres centres spécialisés un peu partout au Canada. Chacun utilise les outils de la biotechnologie pour réaliser ses programmes de recherche et fait partie d'une filière de mise au point des produits de la technologie allant jusqu'à leur transfert à l'industrie agricole.

- Les centres situés à Swift Current, Brandon et Harrow utilisent les haploïdes doublés et la sélection facilitée par des marqueurs pour créer des cultivars de blé dur, de blés de spécialité, d'orge et de soja.
- Les centres de Saint-Jean-sur-Richelieu, Charlottetown et Lacombe ont le savoir-faire pour mettre au point des systèmes de lutte contre les maladies, les insectes et les mauvaises herbes.
- Les centres de Kentville et St-John's mettent au point des cultivars de petits fruits (bleuets, fraises, lingonnes) et de pommes.
- Les centres de Saint-Hyacinthe et de Lacombe travaillent sur des sujets alimentaires allant des bioingrédients aux nouveaux produits, en passant par l'emballage et la conservation.

Ensemble, les 18 centres constituent un solide réseau pour la mise au point de la technologie et son transfert à l'industrie agroalimentaire canadienne.




Lacombe
Saskatoon
Summerland
Lethbridge
Swift Current
Brandon
Winnipeg
St.-John's
Charlottetown
Kentville
Ste-Foy
Fredericton
St.-Hyacinthe
Lennoxville
Ottawa
St.-Jean
London
Harrow